

PROJECTION ALIGNER

Publication number: JP10079337 (A)

Publication date: 1998-03-24

Inventor(s): HASHIMOTO SUMIO; KUDO SHINTARO +

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK +

Classification:

- **international:** *G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02*; (IPC1-7): G03F7/20; H01L21/027

- **European:** G03F7/20T14; G03F7/20T16

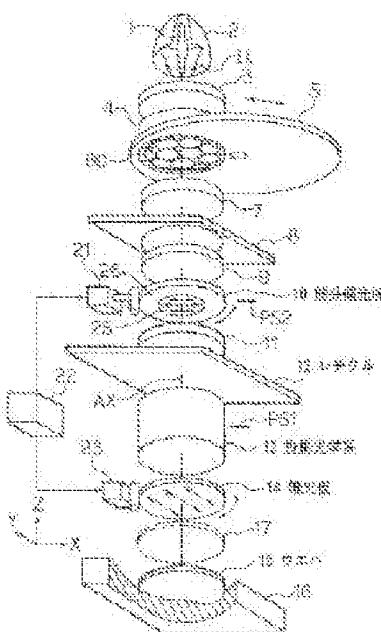
Application number: JP19960234158 19960904

Priority number(s): JP19960234158 19960904

Abstract of JP 10079337 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress high-order spherical aberration fluctuation in the case of zonal illumination or irregular illumination.

SOLUTION: A partially polarizing plate 10 which allows linear polarized components to pass through in a circular region 25 in the vicinity of a light axis AX, and which allows illumination light to pass through as it is in a zonal region 26 is provided on an illumination system pupil face PS2 conjugate with a pupil face PS1 of a projection optic system 13, and a polarizing plate 14 which allows linear polarized components orthogonal to a polarizing direction of the region 25 of the partially polarizing plate 10 to pass through is provided between the projection optic system 13 and a wafer 15, whereby high resolution similar to that with zonal illumination is obtained. In this case, since the linear polarized components which have passed through the zonal region at the center pass through in addition to a light flux which has passed through a zonal region of the partially polarizing plate 10 in the projection optic system 13, an illumination distribution in the projection optic system 13 can be leveled, so that the linear polarized components are shielded by the polarizing plate 14.



.....
Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(51)Int.Cl.
H 01 L 21/027
G 03 F 7/20

識別記号
5 2 1

序内整理番号

F I
H 01 L 21/30
G 03 F 7/20
H 01 L 21/30

技術表示箇所
5 1 6 A
5 2 1
5 1 5 D
5 2 7

審査請求 未請求 請求項の数 4 O.L. (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平8-234158

(22)出願日

平成8年(1996)9月4日

(71)出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 橋本 純夫
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

(72)発明者 工藤 慎太郎
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

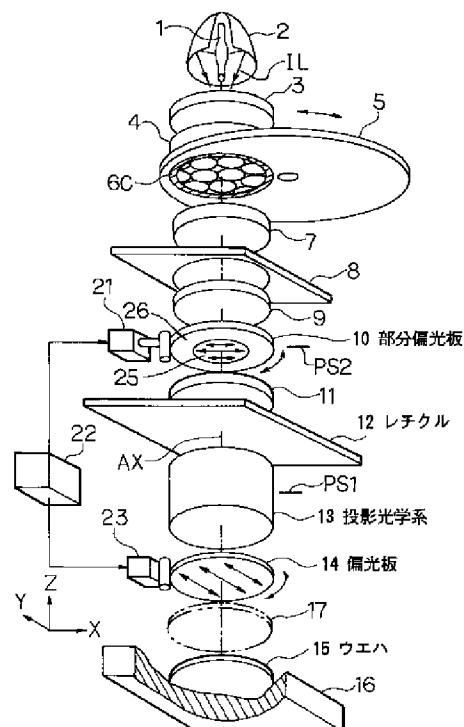
(74)代理人 弁理士 大森 聰

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【課題】 輪帶照明や変形照明を行った場合の高次の球面収差変動を抑える。

【解決手段】 投影光学系13の瞳面PS1と共に役な照明系瞳面PS2に、光軸AXの近傍の円形領域25では直線偏光成分を通過させて、輪帶状の領域26では照明光をそのまま通過させる部分偏光板10を設け、投影光学系13とウエハ15との間に、部分偏光板10の領域25の偏光方向と直交する直線偏光成分を通過させる偏光板14を設けることにより、輪帶照明を用いる場合と同様に高い解像度を得る。この場合、投影光学系13内を部分偏光板10の輪帶状の領域を通過した光束以外に、中央の円形領域を通過した直線偏光成分も通過するため、投影光学系13内の照度分布が均一化され、その直線偏光成分は偏光板14で遮光される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 露光光のもとでマスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系を有し、前記露光光の内で前記マスクから傾斜して射出される光束、又は前記マスクに対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束として使用する投影露光装置であって、前記投影光学系の瞳面と共役な面上で実質的に光軸を中心とする円形の領域に一様に分布する光源からの前記露光光を用いて前記マスクを照明する照明光学系と、前記投影光学系の瞳面、又は該瞳面と共役な面上で、前記有効な結像光束が通過する領域以外の領域を通過する前記露光光の偏光方向を所定方向に設定する第 1 偏光部材と、前記投影光学系と前記感光基板との間に配置され前記投影光学系を通過した前記露光光の内で前記所定方向に偏光する光束を遮光する第 2 偏光部材と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の投影露光装置であって、前記第 1 偏光部材は、前記光軸の周りの輪帶状領域の内側の領域、又は前記光軸から偏心した複数の領域を除く領域を通過する前記露光光の偏光方向を前記所定方向に設定することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 3】 請求項 1、又は 2 記載の投影露光装置であって、

前記第 1 偏光部材と、前記第 2 偏光部材とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】 請求項 1、又は 2 記載の投影露光装置であって、

前記第 2 偏光部材と前記感光基板との間に、前記第 2 偏光部材を通過した前記露光光を円偏光に変換する第 3 偏光部材を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD 等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスク上のパターンの像を感光基板上に露光するために使用される投影露光装置に関し、特に輪帶照明等を行うか、又は中心遮光型の瞳フィルターを使用する投影露光装置に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、例えば半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンの像を投影光学系を介して感光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するステッパー等の投影露光装置が使用されている。これらの投影露光装置では、ウエハにできるだけ高集積度のパターンを露光するため、露光光として出来るだけ短波長の照明光を使用すると共に、投影光学

系の開口数（NA）を大きくして、パターンの解像度を上げるという努力がなされてきた。

【0003】 但し、単に投影光学系の開口数を大きくすると、焦点深度が狭くなりすぎるため、開口数にあまり依存することなく、或る程度以上の焦点深度を確保して、且つ高い解像度を得る方法として、露光光をレチクルに対して傾斜させて照明するという照明法が開発されている。この照明法には、照明光学系の 2 次光源の形状を輪帶状とする輪帶照明及びその 2 次光源の形状を光軸から偏心した複数（例えば 4 個）の小光源とする、所謂変形照明等がある。このような照明法によれば、同じ露光波長、及び同じ投影光学系の開口数でも、投影光学系の解像度が向上する。また、投影光学系の瞳面に輪帶状等の瞳フィルターを配置して、所謂「超解像」により解像度を向上させる方法も開発されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 以上の従来技術において、輪帶照明等を使用せず、レチクルをレチクルに対して垂直に入射する光束を中心として一様に分布する露光光で照明する照明方法によれば、主にレチクルのパターンを通過した 0 次回折光、+1 次回折光、及び -1 次回折光の 3 光束によってウエハ上にそのパターンの像を形成するために、投影光学系の瞳面付近のレンズは中心部も周辺部もほぼ一様に照明される。また、通常の照明法のもとで投影光学系の瞳面に中心部を遮蔽する輪帶状の瞳フィルターを配置しない場合も、投影光学系の瞳面の近くのレンズは一様に照明される。このような照明状態であれば、レンズの中心部が主に温度上昇するために、位置に関して 2 次以下の関数となる熱変形や屈折率変化が主に起こり、ガウス（Gauss）像面の移動だけが光軸付近の主な収差変動として生じる。従って、投影光学系の高次の球面収差変動が発生する恐れは少なかった。

【0005】 しかし、輪帶照明や変形照明法により照明を行った場合には、レチクルのパターンを通過した露光用の照明光の内の主に 0 次回折光及び 1 次回折光によってウエハ上にそのパターンの像を形成するため、投影光学系の解像度の限界線幅に近いパターンが多い場合には、投影光学系の光軸付近を透過する光線の量が周辺部に比べて極めて少なくなる。また、投影光学系の瞳面に光軸付近を遮光した瞳フィルターを配置した場合でも、瞳面よりもウエハに近い側に配置されているレンズの光軸付近を透過する光線の量は周辺部に比べて極めて少くなる。

【0006】 このように投影光学系のレンズに対する照射エネルギーの分布が不均一になると、レンズの周辺部が主に熱を吸収して温度上昇し、中心部が温度上昇しないという現象が起こる。このような温度上昇に比例して、部分的にレンズの屈折率が変動したり、レンズが熱変形したりするので、2 次よりも高次の非球面やそれに相当する屈折率分布が新たに形成される。そのため、投

投影光学系の光軸に近い部分では、照明光の照射によりガウス像面の移動だけでなく、新たに高次の球面収差変動が生じるという不都合があった。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、輪帶照明や変形照明等を用いるか、又は光軸付近を遮光する瞳フィルターを使用して露光を行う際に、投影光学系の高次の球面収差変動を抑えて高い解像度が得られる投影露光装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、露光光（IL）のもとでマスク（12）上のパターンの像を感光基板（15）上に投影する投影光学系（13）を有し、その露光光（IL）の内でそのマスク（12）から傾斜して射出される光束、又はそのマスク（12）に対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束として使用する投影露光装置であって、その投影光学系（13）の瞳面（PS1）、即ちそのマスクのパターン面に対する光学的フーリエ変換面と共役な面上で実質的に光軸（AX）を中心とする円形の領域に一様に分布する光源（6C）（2次光源を含む）からのその露光光（IL）を用いてそのマスク（12）を照明する照明光学系（7～9、11）と、その投影光学系（13）の瞳面（PS1）、又はこの瞳面と共役な面（PS2）上で、その有効な結像光束が通過する領域（26；27A～27D；26A）以外の領域（25；28；25A）を通過するその露光光（IL）の偏光方向を所定方向に設定する第1偏光部材（10；10A；10C）と、その投影光学系（13）とその感光基板（15）との間に配置されその投影光学系（13）を通過したその露光光（IL）の内でその所定方向に偏光する光束を遮光する第2偏光部材（14）と、を設けたものである。

【0009】斯かる本発明の投影露光装置によれば、そのマスク（12）から傾斜して射出される光束を有効な結像光束とする場合には、その第1偏光部材（10C）はその瞳面上に配置されて実質的に中心遮光型の瞳フィルターとして作用する。一方、そのマスク（12）に対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束とする場合には、その第1偏光部材（10；10A）はその照明光学系内でその投影光学系の瞳面と共役な面上に配置されて、実質的に輪帶照明又は変形照明法で照明が行われることになる。

【0010】また、その第1偏光部材（10；10A；10C）とその第2偏光部材（14）との間を、その有効な結像光束と、その第1偏光部材により所定方向に偏光された光束とが合成されて通過する。従って、その第1偏光部材（10；10A；10C）とその第2偏光部材（14）との間に配置された投影光学系（13）の特に瞳面（PS1）近傍のレンズにおける照度分布が均一になり、その瞳面（PS1）の近傍のレンズの高次の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果的に投影光学系

（13）の高次の球面収差変動が抑えられる。しかも、その結像光束以外の光束は、その第2偏光部材（14）によって遮光されるため、その感光基板上では高い解像度が得られる。

【0011】この場合、その第1偏光部材（10；10A；10C）の一例は、その光軸（AX）の周りの輪帶状領域の内側の領域（25；25A）、又はその光軸から偏心した複数の領域（27A～27D）を除く領域（28）を通過するその露光光（IL）の偏光方向をその所定方向に設定する部材である。その第1偏光部材が輪帶領域の内側の領域を除く領域での偏光方向をその所定方向に設定する部材（10；10C）であるときには、輪帶照明又は中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合と等価になる。一方、その第1偏光部材が光軸から偏心した複数の領域を除く領域での偏光方向をその所定方向に設定する部材（10A）であるときには、変形照明法を使用する場合と等価になる。

【0012】また、その第1偏光部材（10；10A；10C）と、その第2偏光部材（14）とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段（21～23）を設けることが好ましい。露光中にその第1偏光部材（10；10A；10C）及びその第2偏光部材（14）を回転することによって、感光基板（15）上に入射する露光光の偏光方向が回転する。従って、マスクパターンの周期方向に依らずに、その感光基板（15）に結像されるそのマスクパターンの像の線幅異常の発生が抑えられる。更に、その第1偏光部材（10）と、その第2偏光部材（14）とは一定の相対角度関係を保って回転するため、その第1偏光部材（10）により偏光された光束はその第2偏光部材（14）により確実に遮光される。

【0013】また、そのように駆動手段（21～23）を設ける代わりに、その第2偏光部材（14）とその感光基板（15）との間に、その第2偏光部材（14）を通過したその露光光（IL）を円偏光に変換する第3偏光部材（17）を設けるようにしてもよい。これにより、感光基板（15）上に結像する結像光束は円偏光となるため、マスクパターンの周期方向による線幅異常は減少する。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の投影露光装置の実施の形態の一例につき図1～図3を参照して説明する。本例は、レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上の各ショット領域に投影するステップ一型の投影露光装置で、実質的に輪帶照明又は変形照明を行う場合に本発明を適用したものである。

【0015】図1は、本例の投影露光装置の構成を説明するためのウエハ側から見た斜視図を示し、この図1において、露光時には、水銀ランプよりなる光源1から射出されたウエハ15上のフォトレジストに感光性の照明

光ILは、橢円鏡2によって集光された後、インプットレンズ3及び不図示の干渉フィルターに入射し、干渉フィルターにより、例えばi線（波長365nm）の照明光ILが抽出される。照明光ILとしては、i線の他にg線等の輝線、又はArFエキシマレーザ光やKrFエキシマレーザ光、あるいは銅蒸気レーザやYAGレーザの高調波等が使用される。

【0016】照明光ILはインプットレンズ3により平行光束となってオプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ4に入射する。フライアイレンズ4の各レンズエレメントの夫々の射出面には2次光源が形成され、これらの2次光源により面光源が作られる。フライアイレンズ4の射出面には、面光源の大きさを調整するために複数の開口絞り6A～6C（図2（a）参照）から選択された1つの開口絞りが配置されている。これらの開口絞り6A～6Cは、ターレット状の円板5に固定され、円板5を不図示の駆動装置により回転することで所望の開口絞りをフライアイレンズ4の射出面に設定できる。

【0017】図2（a）は、図1の円板5上の開口絞りの具体的な構成を説明するための平面図を示し、この図2（a）において、3個の開口絞り6A～6Cはターレット状の円板5上に等角度間隔で固定されている。第1の開口絞り6Aは通常の照明を行う場合に使用される円形開口を有し、第2の開口絞り6Bは小さいコヒーレンスファクタ（σ値）で照明を行う場合に使用される小さい円形開口を有する。第3の開口絞り6Cは、大きな円形開口を有し、本例では輪帶照明、又は変形照明を行う場合にその第3の開口絞り6Cをフライアイレンズ4の射出面に設定する。即ち、通常輪帶照明時には図2

（b）に示す輪帶状の開口絞り6Dが使用され、変形照明時には図2（c）に示す光軸を中心として配置された4個（又は2個）の小さい開口を有する開口絞り6Eが使用される。しかし、本例では後述の部分偏光板10等によって、実質的に開口絞り6D等が兼用される。図1では第3の開口絞り6Cが照明光ILの光路上に配置されている。

【0018】開口絞り6Cを通過した照明光ILは、第1リレーレンズ7を透過し、視野絞り（レチクルブラインド）8により照明範囲が規定される。照明範囲が規定された照明光ILは、第2リレーレンズ9を透過して部分偏光板10に入射する。部分偏光板10に入射する照明光ILは自然光と同様にランダムな偏光成分からなる、所謂ランダム偏光の光束である。開口絞り6Cの配置面と部分偏光板10の配置面（以下、「照明系瞳面」と呼ぶ）PS2とは共役である。

【0019】図3（a）は、部分偏光板10の平面図を示し、この図3（a）において、部分偏光板10の中心は照明光学系の光軸AXにほぼ一致するように配置されており、その光軸AXを中心とする円形の領域25は、

入射する光束の内で偏光方向が矢印で示す方向である直線偏光成分のみを通過させる偏光板となっている。即ち、領域25に入射する照明光ILの内で矢印で示す直線偏光成分のみが領域25を通過する。なお、その矢印は電気ベクトルの方向を示している（以下同様）。一方、円形の領域25の外周25Aの外側の輪帶状の領域26を通過する照明光ILは、ランダム偏光のまま部分偏光板10を通過する。輪帶状の領域26の外周は、図1の開口絞り6Cの開口の像の外周より大きくなるよう設定されている。また、図1に示すように、部分偏光板10は照明光学系の光軸AXを中心として180°回転可能に構成されており、回転角制御系22により回転駆動体21を介して部分偏光板10の光軸AX周りの回転角が制御される。更に、部分偏光板10は回転駆動体21を介して他の変形照明用の部分偏光板と交換できると共に、照明光ILの光路から隨時退避できるように構成されている。

【0020】図3（b）及び図3（c）は、変形照明用の部分偏光板を示し、この図3（b）において、部分偏光板10Aの周辺部に等角度間隔で4個の円形の開口27A～27Dが設けられており、その周囲の領域28は矢印の方向の直線偏光成分を通過させる偏光板となっている。部分偏光板10Aの中心を図1の照明光学系の光軸AXに一致するように配置すれば、光軸AXから偏心した4個の円形の開口27A～27Dをランダム偏光の照明光ILが通過し、それ以外の領域28では直線偏光成分のみが通過する。

【0021】また、図3（c）に示すように、両端に2つの開口29A、29Bを設け、その周囲の領域30を矢印の方向に直線偏光する光束を通過させる偏光板とした部分偏光板10Bも使用される。その開口29A、29Bを通過する照明光の偏光状態もランダム偏光が維持される。そして、これらの部分偏光板10A、10Bも回転駆動体21によって回転される。

【0022】図1において、部分偏光板10を通過したランダム偏光の光束と直線偏光の光束とからなる照明光ILは、コンデンサレンズ11によりレチクル12上に照射される。レチクル12上に照射された照明光ILは、レチクル12上のパターン領域を通過し、投影光学系13を介して偏光板14に入射する。偏光板14の偏光特性は入射する光束の内で、部分偏光板10の円形の領域25を通過する直線偏光成分と直交する方向に直線偏光する成分のみを通過させるように設定されており、部分偏光板10の円形の領域25を通過した直線偏光成分は偏光板14により遮光され、部分偏光板10の輪帶状の領域26を通過したランダム偏光の光束の内の偏光板14の偏光方向と平行な直線偏光成分だけが、偏光板14を通過してウエハ15上に照射される。照明光ILのもとでレチクル12のパターン面とウエハ15の表面とは投影光学系13に関して共役であり、その偏光板1

4を通過した光束によりレチクル1 2上のパターンの像がウエハ1 5上に転写される。

【0023】更に、偏光板1 4も部分偏光板1 0と同様に、光軸AXを中心として180°回転可能に構成されており、回転角制御系2 2により回転駆動体2 3を介して偏光板1 0の光軸AX周りの回転角が制御される。この際に、部分偏光板1 0と偏光板1 4とは常に相対角度関係が一定の状態で、即ち部分偏光板1 0の領域2 5と偏光板1 4との偏光方向が直交した状態で同期して回転される。この場合、投影光学系1 3内の瞳面PS 1、即ちレチクル1 2のパターン面に対する光学的フーリエ変換面は開口絞り6 Cの配置面、ひいては部分偏光板1 0の配置面である照明系瞳面PS 2と共に役である。図1において、照明光学系の光軸AXは投影光学系1 3の光軸と合致しており、以下では光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な2次元平面内の直交座標系をX軸、及びY軸として説明する。

【0024】レチクル1 2はX方向、Y方向、及び回転方向に微動可能なレチクルステージ（不図示）上に載置されている。レチクル1 2の位置は外部のレーザ干渉計（不図示）により精密に計測されており、そのレーザ干渉計の測定値に基づいてレチクル1 2の位置が制御されている。一方、ウエハ1 5は不図示のウエハホルダを介してX方向、Y方向及びZ方向にウエハ1 5を位置決めするウエハステージ1 6上に載置され、ウエハステージ1 6のX方向、Y方向の位置は外部のレーザ干渉計により精密に計測されており、その計測値に基づいてウエハステージ1 6の位置が制御されている。ウエハステージ1 6によりウエハ1 5の各ショット領域の中心を投影光学系1 3の露光中心に移動する動作と露光動作とがステップ・アンド・リピート方式で繰り返されて、レチクル1 2上のパターンの像がウエハ1 5上の各ショット領域に順次転写される。

【0025】次に、本例の投影露光装置の露光動作について説明する。先ず、本例で輪帶照明を行う場合には、図1に示すように、大きな開口の開口絞り6 Cをフライアイレンズ4の射出面に設定し、回転駆動体2 1で照明光ILの光路上に部分偏光板1 0を設定する。この場合、フライアイレンズ4から射出される照明光ILは、あらゆる偏光成分を含む光束である。そして、照明系瞳面PS 2に配置された部分偏光板1 0により、その照明光ILの内で光軸AXの近傍の領域2 5を通過する光束は直線偏光成分のみである。また、照明光ILは部分偏光板1 0の周辺の輪帶状の領域2 6をランダム偏光のまま透過する。このように、照明系瞳面PS 2で或る開口数よりも小さい光束が直線偏光であり、周辺の光束がランダム偏光であるような照明光ILによりレチクル1 2を照明すると、投影光学系1 3の瞳面PS 1の近傍のレンズでは光軸AXの近傍を主に直線偏光の光束が透過する。従って、レンズの周辺部ばかりでなく、中心部も照

射エネルギーを吸収して温度上昇するので、レンズの熱変形や屈折率変化において高次の変動成分に対する2次の変動成分の比率が増し、結果的に高次の球面収差変動が少なくなる。

【0026】また、部分偏光板1 0の領域2 5と偏光方向が直交する偏光板1 4が投影光学系1 3とウエハ1 5との間に配置されており、部分偏光板1 0の円形の領域2 5により選択された直線偏光成分は偏光板1 4によつて遮光されて、ウエハ1 5の結像には関与しない。しかし、部分偏光板1 0の輪帶状の領域2 6を通過した照明光ILのうち、偏光板1 4の偏光方向に平行な偏光成分はウエハ1 5の結像に関与するので、結果的に図2

（b）に示すような中心部が遮光された輪帶状の開口部を有する開口絞り6 Dを用いて輪帶照明を行った場合と等価になる。

【0027】この場合、ウエハ1 5の結像に関係する照明光ILは直線偏光であるため、その直線偏光の偏光方向と、レチクル1 2のパターンの周期方向との角度差によって、ウエハ1 5上のパターンの像の線幅が異なるという線幅異常が起こる恐れがある。そこで、露光中に部分偏光板1 0及び偏光板1 4を回転制御系2 2により、それぞれ回転駆動体2 1及び2 3を介して互いの偏光方向が直交する状態を保って同期して回転駆動する。即ち、露光中に部分偏光板1 0及び偏光板1 4をそれぞれ180°回転する。これによって、レチクル1 2のパターンの周期方向に依らずに、ウエハ1 5上のパターンの像の線幅異常の発生が抑えられる。

【0028】なお、上述のように部分偏光板1 0及び偏光板1 4を回転する機構を設ける代わりに、直線偏光の偏光方向とレチクルのパターンの周期方向との角度差による線幅異常を解消するために、図1の2点鎖線で示すように、偏光板1 4とウエハ1 5との間の照明光ILの光路上に、直線偏光を円偏光に変換する1/4波長板1 7を配置してもよい。これによって、ウエハ1 5に入射する結像光束は円偏光となる。更に、1/4波長板1 7の代わりに、1/2波長板を設けてこの1/2波長板を回転させてもよい。これらの場合には、部分偏光板1 0及び偏光板1 4の回転機構、即ち図1の回転駆動体2 1、2 3及び回転角制御系2 2を省略できる。

【0029】また、偏光板1 4は、投影光学系1 3の全てのレンズが部分偏光板1 0の領域2 5を通過した直線偏光成分で照射されるように、投影光学系1 3とウエハ1 5との間に配置するのが最も望ましい。しかし、球面収差変動には投影光学系1 3の瞳面PS 1付近のレンズに対する不均一な照度分布による熱変形や屈折率変動が大きく関与しているので、偏光板1 4は少なくとも投影光学系1 3内で瞳面PS 1に対してウエハ1 5に近い位置に配置すればよい。

【0030】また、図1に示すように、部分偏光板1 0を照明系瞳面PS 2に配置すると、投影光学系1 3の瞳

面PS1付近のレンズの中心部は直線偏光光、周辺部はランダム偏光光が主に照射される。ランダム偏光光は、2つの互いに直交する直線偏光成分がそれぞれ1/2ずつ混合された光束と見なすことができる。従って、瞳面PS1付近のレンズの中心部は周辺部に比較して1/2の照射エネルギー密度となる。このために高次の球面収差変動が充分小さくならない場合は、照明系瞳面PS2の部分偏光板10の輪帶状の領域26での照度を下げる必要がある。そのためには、輪帶状の領域26に光強度を弱めるためのNDフィルタ(NeutralDensity filter)を設けてもよい。

【0031】次に、変形照明を行う場合には、図1の回転駆動体21を介して照明光IL1の光路上に、図3(b)の部分偏光板10A、又は図3(c)の部分偏光板10Bを配置する。この際に、部分偏光板10Aの4個の開口27A～27D以外の領域28、又は部分偏光板10Bの2個の開口29A、29B以外の領域30を通過した照明光ILの直線偏光成分が、図1の投影光学系13の瞳面PS1付近のレンズの光軸近傍を通過するため、高次の球面収差変動が抑制される。また、その直線偏光成分は偏光板14で遮光されるため、実質的に変形照明を行った場合と等価となって、所定の周期的パターンに対して高い解像度が得られる。

【0032】特に図3(c)に示す部分偏光板10Bを用いるときには、図3(b)のように局在化した4個の部分に開口を設けるよりも解像力が向上することがある。即ち、部分偏光板10Bを使用した場合には、結果的に偏光方向と垂直な方向に傾斜した直線偏光によってウエハ15が照明されることになる。この部分偏光板10Bを1回の露光中に少なくとも180°回転するような機構を設けると、あらゆる方向の周期性のパターンに対して、照明の傾斜方向と偏光方向とが垂直になる。これは、特開平6-53120号公報に開示されているように、ラジアル方向に垂直な方向(円周方向)に偏光するような輪帶偏光板を照明光学系中に配置したのと同様の解像度の向上効果がある。解像力の向上効果については、特開平6-53120号公報に詳しく書かれているのでその説明を省略する。

【0033】次に、通常の照明法で露光を行う場合は、図2(a)の開口絞り6A又は6Bを図1のフライアイレンズ4の射出面に設定すると共に、回転駆動体21を介して部分偏光板10, 10A, 10Bを照明光ILの光路から退避させる。更に、偏光板14をも退避させてもよい。これによって、通常の露光が行われる。なお、上述の実施の形態において、部分偏光板10及び偏光板14の代わりにそれぞれ偏光ビームスプリッタを使用してもよい。部分偏光板10の円形の領域25の代わりに偏光ビームスプリッタを使用したときには、その周囲の領域は例えば素通しの領域とすればよい。

【0034】次に、本発明の投影露光装置の実施の形態

の他の例について、図4を参照して説明する。本例は、実質的に中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合に本発明を適用したものであり、図4において図1に対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。図4は、本例の投影露光装置の概略構成を示す斜視図を示し、この図4において、レチクル12は図1の光源1からコンデンサレンズ11までの照明光学系と同様の照明光学系によって照明されている。但し、本例の照明光学系(不図示)では図1中の部分偏光板10等は配置されていない。即ち、図4のレチクル12はランダム偏光の照明光ILによって照明されている。以下では簡単のため、投影光学系13を上部レンズ系13A、及び下部レンズ系13Bに分けて説明する。この図4に示すように、本例の投影光学系13の瞳面PS1の近傍に図1の部分偏光板10と同様の部分偏光板10Cが設置されている。レチクル12から上部レンズ系13Aに入射したランダム偏光の照明光ILは、部分偏光板10Cに入射する。部分偏光板10Cは光軸AXを中心とする円形の領域25Aが矢印で示す方向の直線偏光成分を通過させる偏光板となり、その周囲の輪帶状の領域26Aはランダム偏光の光束をそのまま通過させる領域となっている。部分偏光板10Cに入射した照明光ILの内で、領域25Aを通過した直線偏光成分と、領域26Aを通過したランダム偏光の光束とは、下部レンズ系13Bを透過し、部分偏光板10Cの領域25Aの偏光方向に直交する直線偏光成分を通過させる偏光板14に入射する。そして、偏光板14を通過した直線偏光成分によりレチクル12上のパターンの像がウエハ15上に転写される。なお、本例においても、部分偏光板10Cは光軸AXの周りに180°回転可能に構成されており、部分偏光板10Cに同期して、且つ偏光方向が直交する状態を保って偏光板14も回転駆動される。

【0035】本例によれば、投影光学系13に入射した結像光束の内で、部分偏光板10Cの円形の領域25Aを通過するのは直線偏光成分のみであり、この直線偏光成分は偏光板14で遮光される。従って、投影光学系13の瞳面PS1に輪帶状の開口部を有する瞳フィルターを配置した場合と等価となり、高い解像度が得られる。また、下部レンズ系13Bのレンズの中心部も直線偏光成分により照射されるため、不均一な照度分布による投影光学系13内の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果として投影光学系13の高次の収差変動成分が減少する。

【0036】また、部分偏光板10C及び偏光板14は180°回転可能で、且つ同期して同じ角度関係を保とうに駆動される構成を有するため、露光中に2つの偏光板10C, 14を例えば180°回転することにより、レチクル12のパターンの周期方向に基づく線幅異常の発生が抑えられる。なお、図1の実施の形態と同様に、図4の偏光板14とウエハ15との間の光路上に1/4

波長板を設置し、偏光板14により直線偏光された光束を円偏光に変換するようにすれば、部分偏光板10C及び偏光板14を回転する機構を設けなくとも、パターンの周期方向に起因する線幅異常は生じない。

【0037】次に、上述の実施の形態において、投影光学系13のレンズに対する照度分布が均一化され、高次の収差変動が抑えられることを計算例に基づいて説明する。先ず、照明光の照射による上昇後の温度分布を計算する。レンズを円筒形に近似して、レンズの側面から周辺の空気を通して熱が流出せず、レンズの縁が金属と接触することにより、その縁からのみ熱が流出し、レンズにおける吸収エネルギー密度分布が光軸AXの回りの角度に対して一定であるとする。そのレンズの半径方向の距離を表す変数をrとすれば、上昇後の温度分布は変数rの関数T(r)となり、レンズの単位体積当たりの熱吸収量及び熱伝導率をそれぞれ、 $\omega(r)$ 及び λ とし、レンズの外半径をaとすると、熱平衡状態での円筒座標系での熱伝導方程式は、次式のように表せる。

$$B_i = 2 \int_0^a \omega(r) \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr / \{ \lambda p_i^2 a^2 [J_1(p_i \cdot a)]^2 \}$$

【0042】特に、熱吸収量 $\omega(r)$ が照射径内で階段状の関数で表されるとき、即ち或るj(1 ≤ j ≤ N)において、変数rが、 $h_j \leq r \leq h_{j+1}$ を満たす区間ににおいて、熱吸収量 $\omega(r)$ が一定値 ω_j をとるととき、次の

$$\int_0^a \omega(r) \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr = \sum_{j=1}^N \int_0^{h_{j+1}} \omega_j \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr$$

$$= \sum_{j=1}^N \omega_j \{ h_{j+1} \cdot J_1(p_i \cdot h_{j+1}) - h_j \cdot J_1(p_i \cdot h_j) \} / p_i$$

【0044】従って、(数4)を(数3)に代入することにより係数 B_i が求められ、この係数 B_i を(数2)に代入することにより、上昇後の温度分布T(r)が求められる。次に、上昇後の温度分布T(r)により、どの次数の収差変動が多く現れるかを調べるために、上昇後の温度分布T(r)を以下のように最小2乗法で r^{10} の項までベキ級数展開すると、次式のようになる。

【0045】

$$[数5] T(r) = T_0 + C_2 \cdot r^2 + C_4 \cdot r^4 + C_6 \cdot r^6 + C_8 \cdot r^8 + C_{10} \cdot r^{10}$$

この場合、上昇後の温度分布T(r)の単位は°C、変数rの単位はmmである。また、 T_0 は、光軸AX、即ち変数rが0の位置における上昇後の温度分布T(0)である。

【0046】以下、実際の数値に基づく計算例について説明する。投影光学系の入射側の開口数(NA)に対する

【0038】

$$[数1] \partial^2 T / \partial r^2 + (1/r) \partial T / \partial r + \omega(r) / \lambda = 0$$

この熱伝導方程式を解くと、次式のようになる。

【0039】

【数2】

$$T(r) = \sum_{i=1}^{\infty} B_i J_0(p_i \cdot r)$$

【0040】ここで、 $J_n(p_i \cdot r)$ は第1種第n次($n = 0, 1, 2, \dots$)のベッセル(Bessel)関数で、 p_i は $J_1(p_i \cdot a) = 0$ を満たす数列である($i = 1, 2, 3, \dots$)。また、係数 B_i は次式により求められる。

【0041】

【数3】

関係が成立する。

【0043】

【数4】

る照明光学系の出射側の開口数の比の値(コヒーレンスファクタ)を σ 値とし、この σ 値を0.75に設定する。そして、 σ 値が0.75の照明系によって外半径40mmの円筒形の石英からなるレンズが照明され、レンズ上の照射半径dが30mmであるような場合について、(数2)～(数4)の熱伝導方程式の解に基づいて計算する。石英の熱伝導率を0.0138W/(cm·°C)とし、ウエハ上のフォトレジストに感光性の照明光に対するレンズの光エネルギーの吸収率を2%/cmとする。

【0047】第1の計算例では、先ず比較のため、照明光の全照射エネルギー量が1Wで、 σ 値が0.75の範囲内でレンズが一様に照射されている場合について計算する。図5(a)は、第1の計算例による上昇後の温度分布T(r)を示し、横軸は変数r、縦軸は上昇後の温度分布T(r)を表す。実線の曲線31Aに示すよう

に、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸 AX に最大値 T_A を有し、光軸 AX に関して軸対称な山型の変化を示す。なお、参考として、照明光の照射エネルギー密度分布 $P(r)$ を点線 3 2 A により示す。照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は、変数 r が $0 \sim d$ (照射半径) の間で一定の値 P_1 となる。また、光軸 AX での温度分布 T_0 、及び温度分布 $T(r)$ を (数 5) によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表 1 に示す。

【0048】

【表 1】

光軸における上昇後の温度分布 T_0	1.8182×10^{-1}
係数	
C_2	-1.3450×10^{-4}
C_4	4.4000×10^{-8}
C_6	-9.9006×10^{-11}
C_8	8.2983×10^{-14}
C_{10}	-2.0745×10^{-17}

【0049】次に、第 2 の計算例について説明する。この計算例は輪帯照明又は瞳フィルターを用いた場合の例であり、第 1 の計算例と同様に比較のための計算例である。 σ 値は最大で 0.75 で、輪帯の内側の σ 値は 0.5 である。その σ 値が 0.5 ～ 0.75 の間でレンズが一様に照明され、全照射エネルギー量が 1 W である場合について上昇後の温度分布 $T(r)$ を計算したものである。

【0050】図 5 (b) は、第 2 の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図 5 (b) において、実線の曲線 3 1 B に示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は変数 r がほぼ $0 \sim e$ の間で一定の温度 T_B となる。点線 3 2 B で示す照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は、変数 r が $e \sim d$ の間で一定の値 P_2 となり、変数 r が $0 \sim e$ の間では 0 となっている。第 1 の計算例と同様に、光軸 AX での上昇後の温度分布 T_0 、及び上昇後の温度分布 $T(r)$ を (数 5) によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表 2 に示す。

【0051】

【表 2】

光軸における上昇後の温度分布 T_0	1.0744×10^{-1}
係数	
C_2	-3.4321×10^{-5}
C_4	2.7328×10^{-7}
C_6	-6.3961×10^{-10}
C_8	4.5319×10^{-13}
C_{10}	-1.0513×10^{-16}

【0052】次に、第 3 の計算例について説明する。この計算例は、図 1 及び図 4 に示す実施の形態のように、

部分偏光板 1 0 又は 1 0 C を使用してレンズが照明されている場合の上昇後の温度分布 $T(r)$ を求めるものである。この場合、 σ 値が 0.75 から 0.5 の範囲内では、ランダム偏光光により全照射エネルギー量が 1 W でレンズが一様に照明され、 σ 値が 0.5 から 0.0 の範囲内においては、直線偏光成分での照明により、 σ 値が 0.75 から 0.5 の範囲の 2 分の 1 の照射エネルギー密度でレンズが照明されているものとする。

【0053】図 5 (c) は、第 3 の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図 5 (c) において、実線の曲線 3 1 C に示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸 AX に最大値 T_C を有し、光軸 AX に関して軸対称な山型の変化を示す。また、照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は階段状に変化する点線 3 2 C に示すように、変数 r が $e \sim d$ の間で一定の値 P_2 となり、変数 r が $0 \sim e$ の間では一定の値 P_3 ($= (1/2) \cdot P_2$) となっている。また、光軸 AX での温度分布 T_0 、及び温度分布 $T(r)$ を (数 5) によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表 3 に示す。

【0054】

【表 3】

光軸における上昇後の温度分布 T_0	2.1736×10^{-1}
係数	
C_2	-1.3821×10^{-4}
C_4	1.7624×10^{-7}
C_6	-4.0891×10^{-10}
C_8	3.0128×10^{-13}
C_{10}	-7.1235×10^{-17}

【0055】なお、第 1 及び第 2 の計算例においては、全照射エネルギー量を 1 W とし、第 3 の計算例においては、 σ 値が 0.75 から 0.5 の範囲内における照射エネルギー量を 1 W としている。この第 3 の計算例においては、 σ 値が 0.5 ～ 0.0 の範囲における照射エネルギー量を加えると、全照射エネルギー量は 1 W を超える。これは、第 1 ～ 第 3 の計算例におけるウエハ 1 3 上のフォトレジストに対する感光性の照明光の照射エネルギー量を等しくして、露光時間 (スループット) が等しくなるように設定したものである。

【0056】第 1 の計算例に示す一様照明方式と、第 2 の計算例に示す輪帯照明方式又は瞳フィルター方式 (輪帯照明方式等) とを比較した場合、表 1 及び表 2 で示すように、輪帯照明方式等の方が一様照明方式に比較して、光軸 AX における温度が低い。それにもかかわらず、例えばベキ級数の係数 C_4 を比較すると、一様照明方式の場合の係数 C_4 の値が、 4.4000×10^{-8} に対して、輪帯照明方式等の場合の係数 C_4 は、 2.7328×10^{-7} と、輪帯照明方式等の方が大きくなっている。即ち、一様照明方式と輪帯照明方式等とを比較する

と、係数 C_2 以外のベキ級数の係数の絶対値は全て輪帶照明方式等の方が大きくなっている。熱変形や屈折率変化は上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例するので、収差変動も上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例する。係数 C_2 より高次のベキ級数の係数が全て輪帶照明方式等の方が大きいということは、輪帶照明方式等の方が高次の収差変動が大きいことを意味する。

【0057】ここで、図1及び図4に示す実施の形態の露光方法を「部分偏光板方式」とすれば、この部分偏光板方式により光軸近傍にも直線偏光成分を照射すると、第3の計算例に示すように、全照射量が一様照明方式や輪帶照明方式等よりも多いのにもかかわらず、表3及び表2に示すように、係数 C_4 の値 ($= 1.7624 \times 10^{-7}$) は、輪帶照明方式等での係数 C_4 の値 ($= 2.7328 \times 10^{-7}$) よりも小さくなっている。更に、係数 C_6, C_8, C_{10} の絶対値を比較すると、何れの係数においても部分偏光板方式の方が輪帶照明方式等よりも小さくなっている。これは、部分偏光板方式により高次の収差変動が小さくなることを意味する。

【0058】また、第3の計算例においては、 σ 値が $0 \sim 0.5$ の間における照射エネルギー密度を、 σ 値が $0.5 \sim 0.75$ の間における密度分布の $1/2$ とした。これに対して、 σ 値が $0 \sim 0.75$ の範囲において全て一様な照射エネルギー分布により照射されるように、例えば前述のようにNDフィルターを使用するか、又は図3 (b) 及び図3 (c) のように変形照明法を用いて極在化した部分のみランダム偏光光を透過させ、それ以外の部分で直線偏光成分を通過させる場合の温度分布 $T(r)$ について計算し、図5 (b) の輪帶照明方式等の場合と比較してみる。この場合、図3 (b) 及び (c) の極在化した部分を透過するランダム偏光光の全照射量を 1W とする。

【0059】この場合のレンズに照射される全照射量 $T_P(\text{W})$ は次式により求められる。

$$T_P = 1\text{W} \cdot 0.75^2 / (0.75^2 - 0.5^2) = 1.8\text{W}$$

従って、図5 (c) のような部分偏光板方式において、 σ 値が 0.5 以下の範囲もその周囲の領域と等しい照射エネルギー密度で照射する場合には、図5 (a) の一様照明方式において、照射エネルギー密度を 1.8 倍した状態と等価である。従って、ベキ級数の係数も全て表1の値を 1.8 倍したものとなるため、係数 C_4, C_6, C_8, C_{10} はそれぞれ、 $7.9200 \times 10^{-8}, -1.7821 \times 10^{-10}, 1.4937 \times 10^{-13}, -3.7341 \times 10^{-17}$ となる。これらの係数の値を表2のそれぞれの係数と比較した場合、光軸AX近傍の上昇後の温度分布 T_o が輪帶照明方式等の場合よりもかなり大きいにもかかわらず、係数 $C_4 \sim C_{10}$ までの係数は輪帶照明方式等の場合より全て小さくなっている。即ち、部分偏光板方式で σ 値が $0 \sim 0.75$ の範囲内において、平坦な

照射エネルギー密度 P_2 で照射した場合でも、輪帶照明方式等の場合より高次の収差変動が少ないことを意味している。

【0060】なお、本発明はステッパー型の投影露光装置に限らず、レチクルのパターンの一部を投影光学系を介してウェハ上に投影した状態で、レチクルとウェハとを投影光学系に対して同期走査してレチクルのパターンを順次ウェハ上の各ショット領域に転写露光するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置にも同様に適用できる。

【0061】このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0062】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、マスクから傾斜して射出される光束又はマスクに対して傾斜して入射する光束以外の光束を第1偏光部材により所定方向に偏光した後、その偏光した光束を第2偏光部材により遮光するため、感光基板上に結像する光束はマスクから傾斜して射出される光束、又はマスクに対して傾斜して入射する光束だけとなり、中心遮光型の瞳フィルターを用いる方式、又は輪帶照明や変形照明を用いる場合とほぼ等価の高い解像度が得られる利点がある。また、第1偏光部材と第2偏光部材との間を、有効な結像光束と第1偏光部材により所定方向に偏光された光束とが通過する。従って、第1偏光部材と第2偏光部材との間に配置された投影光学系の瞳面近傍におけるレンズの照度分布がほぼ均一になり、投影光学系内のレンズの高次の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果的に投影光学系の高次の球面収差変動が抑えられる利点がある。

【0063】また、第1偏光部材が、光軸の周りの輪帶状領域の内側の領域、又は光軸から偏心した複数の領域を除く領域を通過する露光光の偏光方向を所定方向に設定する場合には、有効な結像光束は光軸の周りの輪帶状の領域、又は光軸から偏心した複数の領域を通過し、第2偏光部材を通過して感光基板上に結像する。一方、有効な結像光束以外の光束は、第2偏光部材により遮光され、感光基板上に結像しない。従って、その第1偏光部材が投影光学系の瞳面と共役な面上にあるときには、輪帶照明や変形照明を行った場合と等価になる。一方、その第1偏光部材がその瞳面上にあり、光軸の周りの輪帶状領域の内側の領域で直線偏光光を通過させるときには、中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合と等価になる。

【0064】また、第1偏光部材と、第2偏光部材とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段を設ける場合には、第1及び第2偏光部材を露光中に回転させることによって、感光基板に結像したパターンの像の線幅がパターンの周期方向により変化する線幅異常の発生が抑えられる利点がある。

【0065】また、第2偏光部材と感光基板との間に、第2偏光部材を通過した露光光を円偏光に変換する第3偏光部材を設ける場合には、第1及び第2偏光部材を回転する駆動手段を設けることなく、パターンの周期方向による線幅異常が抑えられる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影露光装置の実施の形態の一例を示す一部を切り欠いた斜視図である。

【図2】図1の照明光学系に設けられた各種の開口絞りを示す平面図である。

【図3】(a)は図1の部分偏光板10を示す平面図、(b)は変形照明用の部分偏光板10Aを示す平面図、(c)は部分偏光板の他の例を示す平面図である。

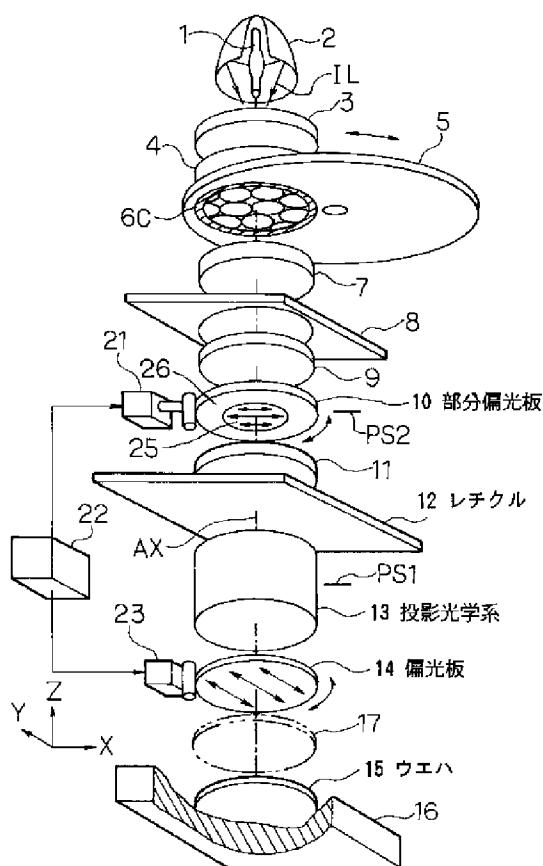
【図4】本発明の投影露光装置の実施の形態の他の例の要部を示す斜視図である。

【図5】本発明の実施の形態において、照射エネルギーによる温度分布の計算例を説明するための図である。

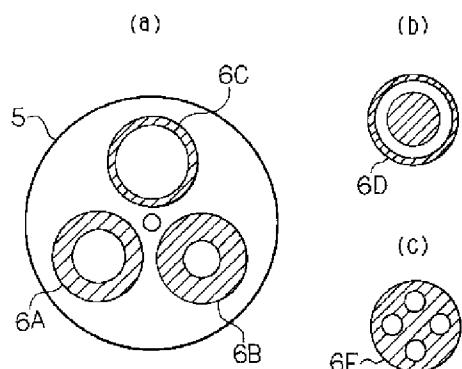
【符号の説明】

- 1 光源
- 4 フライアイレンズ
- 6A～6C 開口絞り
- 10, 10A, 10B, 10C 部分偏光板
- 12 レチクル
- 13 投影光学系
- 13A 上部レンズ系
- 13B 下部レンズ系
- PS1 瞳面
- PS2 照明系瞳面
- 14 偏光板
- 15 ウエハ
- 16 ウエハステージ
- 17 1/4波長板
- 21, 23 回転駆動体
- 22 回転角制御系

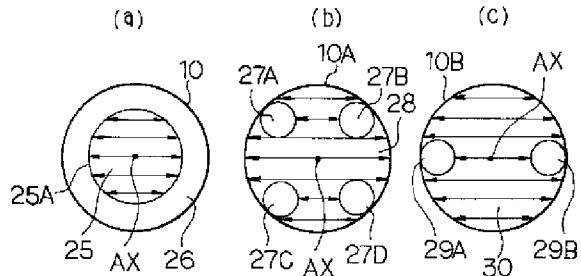
【図1】



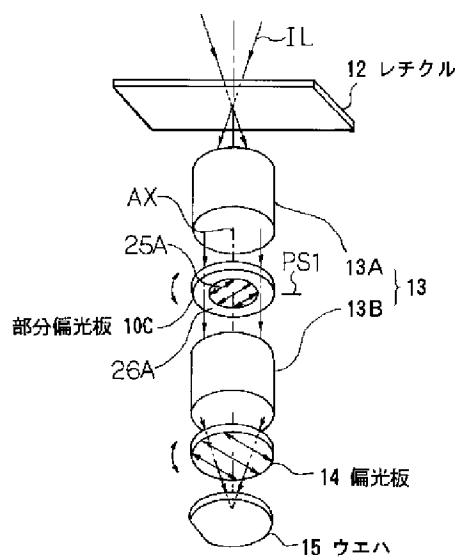
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

